

南京地铁对城市公共交通网络通达性的影响及地价增值响应

李 志^{1,2}, 周生路², 吴绍华², 代婉莹³, 陈 龙², 吕立刚²

(1. 江西师范大学城建学院, 南昌 330022; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093;

3. 中国联合工程公司规划市政设计院, 杭州 310014)

摘要:以南京地铁1、2号线为例,通过多个指标测度地铁建成前后的交通通达性及其格局变化,探讨不同类型用地对地铁通达性的增值响应模式。研究结果表明:地铁从时间成本、影响范围等方面增益了研究区交通通达性;外围绝对通达性增幅高于中心区,而“半径陷阱”作用使得中心区的相对通达性高于外围,产生“中心膨胀-外围坍缩”的通达性格局变化;地价格局变化与通达性格局变化类似,不同类型用地对地铁的增值响应模式不同,商业用地增值为对数响应模式、住宅用地为指数响应模式、工业用地为线性响应模式;地铁对城市土地升值的贡献占到总量的1/3,其中地铁对商业用地外部性作用大于住宅和工业用地。研究结果可为评估地铁对城市土地利用影响、城市经济外部性以及制订征收差别化的土地房屋税收政策提供依据。

关键词: 地铁; 通达性; 地价增值; 南京

DOI: 10.11821/dlxb201402009

1 引言

在发达国家,倡导城市以公共交通为导向的开发TOD (Transit-Oriented Development)已应用多年,作为现代化的交通方式,地铁在提升出行效率、合理土地利用、缓解交通环境压力、促进出行公平性、改善要素集聚分配具有重要作用,同时对城市经济、尤其是土地价值产生不可忽视的外部性。Richard等指出大曼彻斯特地铁系统有效地提升了居民出行速度、频率,节约了成本^[1]。Huang等发现,地铁交通在其他共同因素协作下能有效改变土地利用方式^[2]。Haper等指出美联线地铁对居民出行模式产生了重要的影响,显著了改变居民出行模式^[3]。Golias以雅典地铁为例指出新地铁开通至少吸引了53%公交出行者和24%的小汽车出行者^[4]。Bhandari以德里地铁为例指出地铁使得居民出行基尼系数下降,促进了居民出行的公平性^[5]。Bhattacharjee等通过测度指出地铁能较好地缓解丹佛城市交通拥堵和城市环境污染^[6]。Brueckner等以基础设施理论揭示了地铁对城市穷富人口分布规律并以该理论指导城市规划^[7]。Jose等在以西班牙3个中等城市为例指出地铁改变了城市传统零售商业集聚和销售方式^[8]。Christopher等以亚特兰大快速交通为例从人口和就业率方面证明了地铁具有很强的外部性^[9]。随着我国城市化的进一步发展,城市轨道交通建设呈高速发展态势,据统计2010年中国有11个城市已建成地铁,线路总长度达1014 km;到2050年建设地铁的城市将增加到33个,线路总长度超过1万km。研究地铁对城市经济社会的影响具有重要的理论和实践意义。

收稿日期: 2013-05-10; 修订日期: 2013-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001047) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41001047]

作者简介: 李志 (1985-), 博士, 讲师, 主要从事土地资源规划及管理研究。E-mail: Gmorning1985@jxnu.edu.cn

通讯作者: 周生路, 教授, 中国地理学会会员 (S110001882M)。E-mail: zhousl@nju.edu.cn

增益通达性和土地价值是城市轨道交通建设最主要的两类影响。通达性是指利用一种特定交通系统从某一给定区位到达活动地点的便利程度^[10]，周一星指出其可用距离、影响、阻碍程度等来衡量^[11]。地铁作用于通达性和土地价值的研究成果不胜枚举。国外多数学者指出地铁能有效改善城市内部通达性、空间邻近性^[8, 10, 12]。增加价值方面，尽管有部分学者质疑情况下^[13]，多数学者认为位于地铁附近的房屋土地收益率能得到提升^[14-19]，如Cervero、Hack等对美国、日本地铁的研究指出地铁交通提升了周边住宅地价的25%，商业地产的57%^[20-21]。我国对地铁影响城市交通通达性、土地经济外部性的研究成果也日渐丰富，邓羽利用矢删数据研究了结合轨道交通的北京城区交通时间可达性的测度及其空间特征^[22]，郭谦等基于换乘效率指数专门测度了北京轨道交通网络的通达性^[23]，董冠鹏、武文杰、王松涛、谷一桢等分别用GWR模型、结构模型、Hedonic特征价格模型等指出地铁能够增进住房土地价值^[24-27]。总体上，国内研究稍显不足：一是在没有理论分析的基础上，以数据驱动证明地铁通达性与土地升值之间的固定关系是有失偏颇的，这也是不同人在解释地铁经济外部性存在较大差异的主要原因；二是国内研究集中于地铁通达性对住宅土地价格的影响，很少关注商业、工业用地，这样难以形成地铁影响城市总体土地利用的全面性观点；三是既有的成果没有发现或证明地价与地铁通达性之间是否存在客观规律，尤其是不同类型地价对通达性的响应规律，这些规律是评价地铁贡献性、调整外部性内化的重要基础^[28]。为此，本文以南京地铁1、2号为例，首先研究地铁建设前后通达性格局变化，其次将通达性格局变化与地价格局变化进行空间耦合对比，为研究我国大中城市地铁与城市土地利用之间的关系作一次有益的探索，亦为探讨地铁影响的通达性、土地经济外部性及其它们之间的作用规律等研究作抛砖引玉之用。

2 研究思路与数据来源

众所周知，位于地铁站附近的城市土地通常对地铁产生升值响应，这个现象被称为地铁经济外部性，也有人称之为“Land value capture”^[28-29]，该现象产生的理论基础为区位地租理论。地租理论指出区位是物业价值存在的基础，其决定了地租收益的等级和差异，而通达性是体现区位的一个重要部分。交通设施能够提高其他基础设施的通达性，从而能改变区位特征，因此提升通达性能够增加土地收益和土地价格^[30-31]。而国外研究表明，不同类型用地“Land value capture”存在显著的差别，因此作者认为不同类型地价增值对地铁改善通达性的响应是不一致的，尤其是商业、住宅及工业等地对通达性的敏感程度存在差别，或者说不同类型用地的增值与通达性不同侧面存在相应关系。基于这一理论分析和研究假设，论文拟先构建具有模拟地铁跳跃型出行的交通网络模型，从多角度测度研究区公共交通网络通达性入手，并验证通达性是否与地价空间存在格局的一致性和变化的相似性，在此基础上，运用数理统计方法来探究如商业、住宅、工业等不同用地对通达性的增值响应是否具有一定的规律或模式。

研究区域设定为南京市主城区绕城高速以内区域，面积300 km²，涉及完整的鼓楼、白下、玄武、秦淮、建邺、下关区以及部分栖霞和雨花台区（以下简称江南八区）。2012年研究区人口为680万，地铁日均客流达到110万人次。论文中以2004年城市公交网作为地铁开通前的网络形态，以2012年城市公交网络代表开通地铁之后的网络形态。研究区交通网络矢量数据根据南京市2004、2012年正式出版的交通地图数字化而得，基准地价资料及历史土地交易数据来自南京市土地储备中心及其网站公开的网上资料等。同时以2004年和2010年土地价格空间代表地铁开通前后的地价格局，类型包括商业用地、住宅用地和工业用地。土地价格空间格局以当年南京市土地基准地价图并结合补充地价样点调查进行综合插值分析而得。

3 通达性测度方法

3.1 城市公共交通网络构建技术

城市交通网络,不仅需要考考虑实际网络形态的变化,更重要的是考虑城市交通流模式的改变^[32],如出行模式、公交出行率的改变等。因此测度地铁对城市交通通达性的变化,需要评估居民出行方式改变程度并要建立一个可模拟变化的拓扑矢量型的交通网络。考虑到小汽车出行模式的次要性及简化问题,研究构建的交通网络模型以步行—公交—地铁三种大众型出行网络来构建。网络通行成本以时间花费为度量,参考邓羽、郭谦等人的研究,设定步行网络及地铁网络速度分别为5 km/小时和50 km/小时^[23-24],公交网络中以城市道路等级对公交出行速度进行分级,城市主、次干道及街巷的出行速度为35 km/小时、20 km/小时、10 km/小时。为测度地铁对通达度的影响,还需要确定网络中的出发源、目的地和重要的交通节点。本文按照街区行政、主要道路和区片规划的边界对出行单元进行分割,共划定单元162个,单元内地块的行政隶属及用地性质保持一致。其中鼓楼区共划分出行单位19个,白下区17个,建邺区24个,秦淮区12个,栖霞区27个,下关区20个,玄武区30个,雨花台区13个;单元中以住宅用地为主的单元75个,占比46%,商业行政用地为主的单元59个,占比36%;工业仓储用地单元共28个,占比18%。这些单元被作为出发源。目的地的选择以人口流集中或分配较为突出的地点进行识别,因此目的地主要由商业目的地和对外交通换乘目的地两者来代表。分别选取了新街口、湖南路、夫子庙、金桥市场等商业圈中心,南京站、南京南站、中华门站和汉中门站对外交通换乘中心来作为出行目的地,另外每个出发源也作为其他出发源的目的地。通过查阅网上公开电子地图资料,分别统计2004年和2012年南京市区内公交站点的数目和线路数,并以公交站点作为网络中的节点,其中地铁站点也被视为重要的节点,同时该节点在拓扑网络中承担公交网络与地铁网络的连接点要素,完成模拟出行方式的跳跃性。

3.2 公共交通网络通达性测度方法

通达性一般从距离成本、影响范围、网络形态三种角度来衡量^[33]。距离成本往往以最短通行的时间或花费指标度量,此类方法称之为最短距离模型法^[34]。影响范围则往往以潜在可达面积来度量,多采用累积法、重力法等^[35]。而结构形态则以网络的形态指数法度量,如节点树环指数、道路分形维数等^[35]。基于论文分析需求,在构建了地铁前后的复杂交通网络的基础上,选取最短距离模型法中的最短加权公交旅行时间距离 M_i 、OD矩阵对距离型通达性进行测度,选取等时圈法对面积型通达性进行测度,选取连通率指数 β 、交通通达性系数 A_i 对形态型通达性进行测度。加权公交旅行时间距离公式如下:

$$T_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} T_{ij} \quad (1)$$

式中: w_{ij} 表示*i*→*j*段的公交路段行驶成本的权重,其中 w_{ij} 计算先通过最大—最小反向求值后,即最大路线数量的路段权重取最小数与线路总和之比,再通过归一标准化处理而得。

OD矩阵 L 如下,设定出发源*i*和目的地*j*的最短旅行时间距离满足以下条件:

$$l_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{when } i=j \\ l_{ji}, & \text{when } i \text{ 与 } j \text{ 相邻} \\ \min\{(l_{ik} + l_{kj}), \text{all } k\}, & (k = 1, 2, \dots, n), \text{ when } i \neq j \end{cases} \quad (2)$$

则OD矩阵 $L = [l_{ij}]_{n \times n}$ 。

连接率 β 测算公式为:

$$\beta = e/v \quad (3)$$

式中: e 表示公交网络的线路数; v 表示网络节点数;连接率 β 表示公交网络节点的平均线

路数, 当 $\beta < 1$ 时, 表示网络的是树形结构, $\beta > 1$ 表示网络是回路路网, 公交线路数均来源于经南京市批准公开的城市电子地图。

交通通达性系数 A_i 公式为:

$$A_i = n \sum_{j=1}^j T_{ij} / \sum T$$

(4)

式中: T_{ij} 表示出发源 i 到目的地 j 最短旅行时间的总和, 论文此处目的地选取为除发源 i 的其他所有出行单元; T 则表示所有发源 i 到非发源 i 地的最短旅行时间总和; n 则为出行单元的个数。 A_i 越小, 则 i 通达性越好。当 $A_i > 1$ 时, 表示 i 的通达性小于全局通达性, 当 $A_i < 1$ 时, 表示 i 的通达性优于全局通达性。

4 地铁对研究区公共交通网络通达性的影响

4.1 地铁对通达性的总体影响

按式 (1), 分别计算各个出发源到所有的商服中心、最近商服中心、所有对外交通中心、最近对外交通中心以及出发单元间彼此的最短旅行时间距离, 结果见表1、图1。由表1可得, 地铁开通前, 研究区内居民出行到最近商业中心和对外交通中心的平均花费时间均约17分钟, 而要完成到所有商业中心和对外交通中心的旅行, 则需要花费99和111分钟, 同时居民单元完成彼此间的旅行总时间为4771分钟。而开通地铁后, 居民出行的

表1 基于时间成本的地铁对南京城市交通网络总体通达性的改进

Tab. 1 The impact of Nanjing metro on public transit accessibility based on time cost test

| 网络 | 到所有商 服中心的 总成本 (分钟) | 到所有商 服中心的 平均成本 (分钟) | 到最近商 服的 总成本 (分钟) | 到最近商 服的平均 成本 (分钟) | 到所有对 外交通点 的总成本 (分钟) | 到所有对 外交通中 心的平均 成本 (分钟) | 到最近对 外交通中 心的 总成本 (分钟) | 到最近对 外交通中 心的平均 成本 (分钟) | OD矩阵 时间距离 (分钟) | 居民单元 彼此通行 平均时间 成本 (分钟) |
|------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 地铁通前 | 15975 | 99 | 2761 | 17 | 17955 | 111 | 2720 | 17 | 772955 | 4771 |
| 地铁通后 | 14285 | 88 | 2544 | 16 | 16270 | 100 | 2397 | 15 | 719134 | 4439 |
| 改善 | 1690 | 10 | 217 | 1 | 1685 | 10 | 323 | 2 | 53821 | 332 |

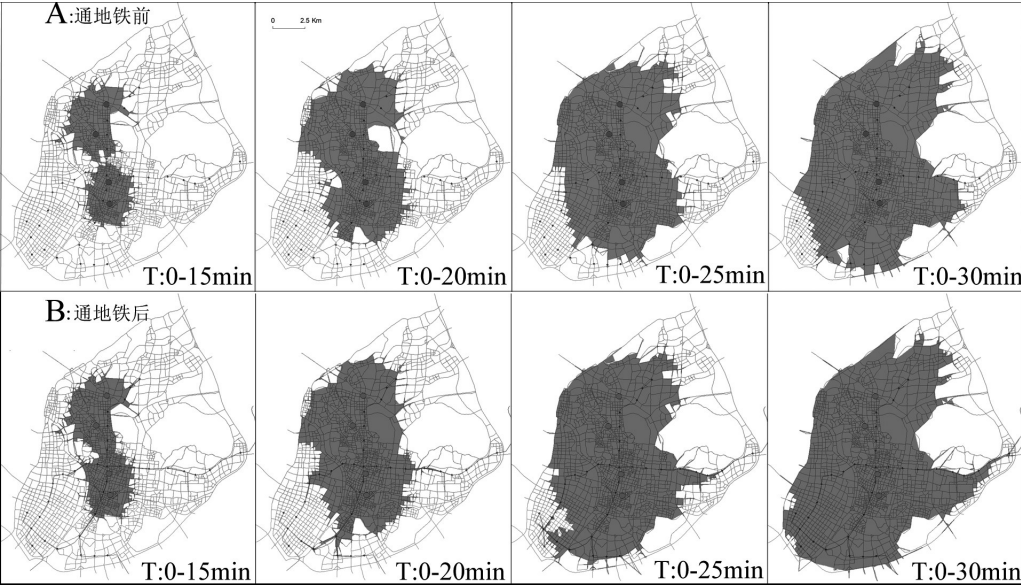


图1 基于累积面积法的南京市地铁开通后对城市交通通达性的影响

Fig. 1 The impact of Nanjing metro on public transit accessibility based on influence area test

旅行时间得到改善,到最近商业中心和对外交通中心的花费分别节约了1和2分钟,分别改善了8%和12%;到所有商业中心和对外交通中心的时间节约了10分钟,分别改善了11%和9%;完成出行单元间旅行时间为4439分钟,改善了7%。

按照等时圈法,以商业中心等时圈的服务累积面积对地铁开通前后的城市交通网络的通达性进行对比,时间范围分别设置为15、20、25和30分钟,如图2所示。结果表明,随着时间尺度的放大,商业中心服务可达面积也不断增加。地铁开通前,15、20及30分钟范围内,服务面积占到总研究区面积的16.5%、34.9%和66.3%。地铁开通后,其服务面积比例分别增加到18.2%、39.3%和74.3%,比例增加幅度分别为1.7%、4.4%和8.0%,面积增加幅度分别为 423×10^4 、 1060×10^4 和 1946×10^4 m²。地铁开通使南京市主城区内主要商业中心在同等出行时间下服务可达的面积显著增加。

按式(3)对网络形态进行对比,结果见表2。表中显示,地铁开通前、后南京市主城区交通网络的连接率都大于1,表明交通网络呈现较好的回路结构。地铁开通后,地铁网络对公交网络的回路完整性起到促进作用,使得交通连接率提升了0.7%。

4.2 地铁对通达性格局的影响

按式(2)、式(4)对研究区162个出行单元进行OD矩阵时间和通达性系数测度,结果见图2。开通地铁前,通达性格局呈现类似中心高、周边地的圈层式格局,总体上围绕新街口、湖南路等商业中心和城市主干道向周边递减。在开通地铁后,圈层式递减的格局没有较大的变化,但从矩阵时间和通达性系数的前后对比来看,如图2(B)显示,沿着地

表2 基于网络形态测度的地铁对南京城市交通网络总体通达性的改进

| Tab. 2 The impact of Nanjing metro on public transit accessibility based on net morphology test | | | |
|---|------|------|--------|
| 网络 | 线路数 | 站点数 | 连接率 |
| 地铁开通前 | 8574 | 2562 | 3.3466 |
| 地铁开通后 | 8650 | 2565 | 3.3723 |

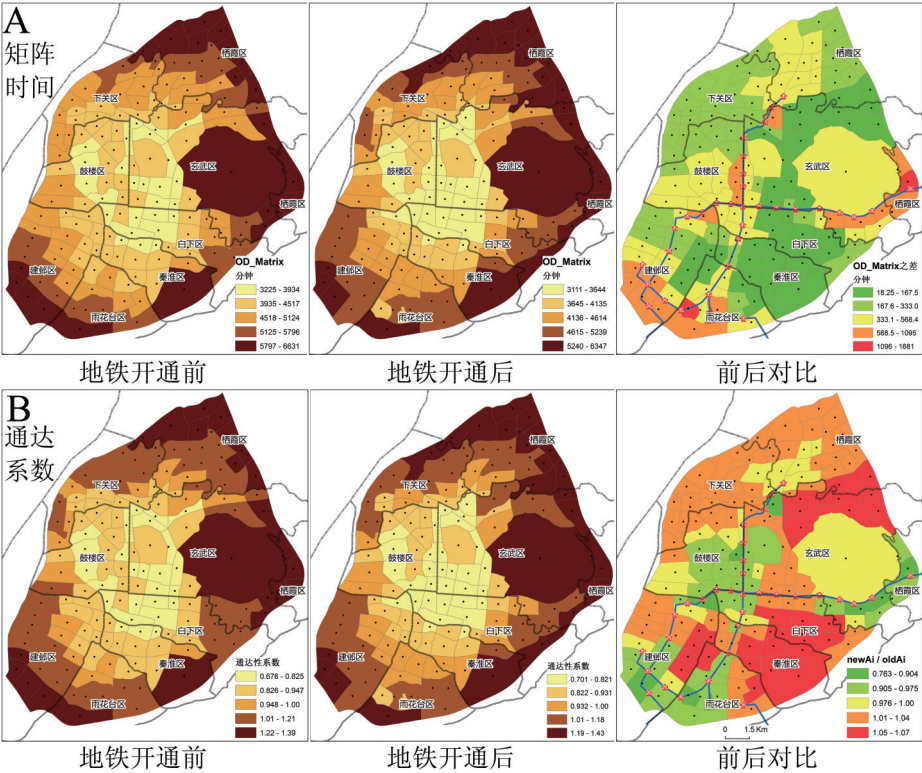


图2 基于OD矩阵和通达性系数的地铁对研究区通达性格局影响

Fig. 2 The impact of Nanjing metro on accessibility spatial pattern based on OD matrix and coefficient test

升,从地铁开通前劣于建邺区变化为地铁开通后优于建邺区,名次由第7位上升为第6位。④虽然建邺区的名次落后了一位,但其相对通达性系数有所增加,其相对通达性地位正在“上升”。另外,在开通地铁前,鼓楼区、白下区、秦淮区、玄武区和下关区的相对通达性均高于全局平均水平,而开通地铁后,下关区被排除在通达性优势区之外,同时白下、秦淮、玄武等传统通达性较好的地区在地铁通行后其通达性系数都有所降低。由此可推论,地铁对主城区空间上的通达性产生不一致的局部作用。证据揭示,接近地铁地区其相对通达性更加膨胀,而远离地铁的地区其通达性更为坍缩。

4.3 地铁作用通达性格局的中心膨胀—外围坍缩规律

为更好地揭示地铁对研究区通达性格局产生了“中心膨胀—外围坍缩”效应,本文分别以300 m、500 m、800 m三种间隔尺度围绕地铁出入口站点作缓冲带,测度缓冲带上通达性系数在地铁开通前后的变化,结果见图3。在三种不同尺度的缓冲带上,通达性系数总体随着半径的增大而增加,通达性随半径增加而降低。同时三种尺度的测度结果显示一个共同的现象,即当距离地铁半径跨过为某个关口半径后,地铁对交通通达性的作用发生深层次改变,前后通达性系数的差值由负转为正,比值由大于1变为小于1,这表明地铁带来的相对通达性增加,远地区不及近地区,地铁对通达性的提升产生了“半径陷阱”规律。位于关口半径以内的,地铁不仅促进该区的绝对通达性,而且提升该区的相对通达性,可认为其通达性得到了“膨胀”;而位于关口半径以外的地区,尽管地铁能够提升该地区的绝对通达性,但是却削弱了其相对通达性,使得该地区的通达性处于“坍缩”,相比之下其通达性受到了损害。

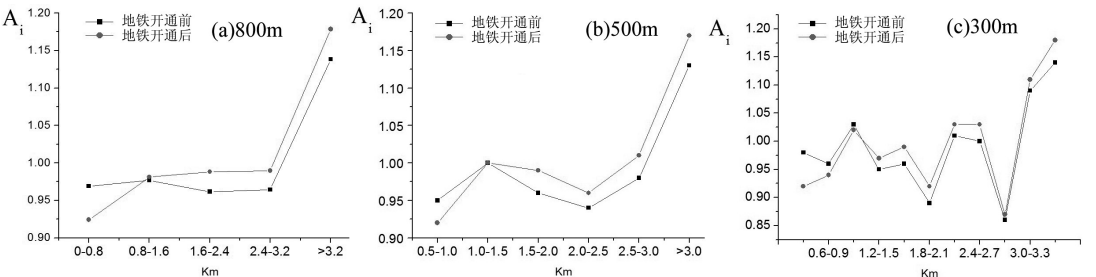


图3 不同尺度下的地铁影响通达性格局中心膨胀-外围坍缩规律

Fig. 3 The impact of Nanjing metro on accessibility coefficient of buffer district in different scales

为进一步了解地铁对局部通达性改变和影响,选取通达性系数位于前10%出行单元作为优质通达性的空间,其加权几何中心作为优质通达性格局的中心,权重以通达性系数为计,同时采用标准差椭圆分析法^[36]对优质通达性空间在地铁开通前后的分布、方向、趋势进行分析,结果如图4所示。地铁开通前,优势通达性空间的中心点位于玄武区鱼市街某处,方向测度的椭圆长轴半径为2865 m,以“东北—西南”角分布,与正东方向夹角为71.2°,椭圆的曲率为0.853。地铁开通后,优势空间的中心点仍在玄武区内,位于成贤街某处,椭圆长轴半径3101 m,方向以“东南—西北”角分布,与正东夹角为117.2°,曲率为0.641。由结果可知,地铁对优质通达性空间中心也具有显著影响,表现为:①地铁改变了前后通达度优势格局的朝向,由过去的“东北—西南”朝向变为“东南—西北”向;②地铁的开通促使优势格局中心点向东南方向转移885 m。

5 地价对地铁改善通达性的响应

5.1 地铁开通前后土地价格的空间格局及变化

经地统计分析,商业和住宅用地空间格局适宜普通克里格插值方法,工业用地适宜反

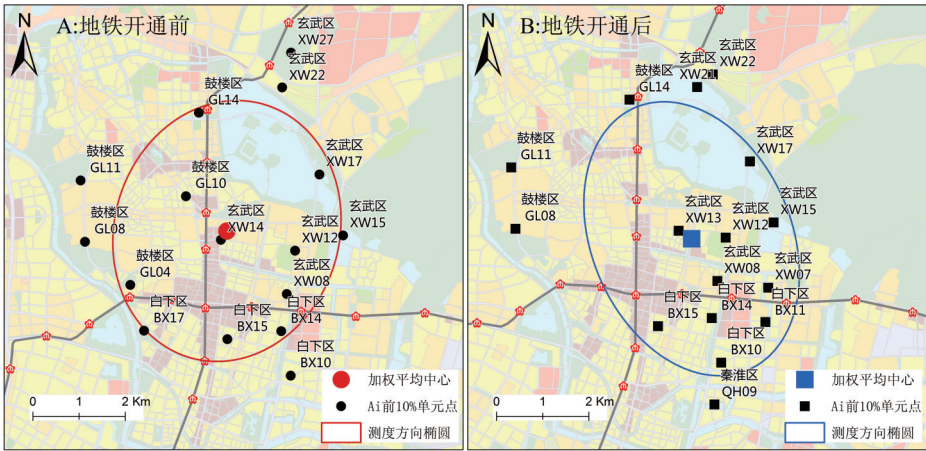


图4 地铁对研究区通达性格局中心的影响

Fig. 4 The impact of Nanjing metro on the accessibility centre of transit space

表4 研究区土地价格空间插值模型的优选

Tab. 4 Land price spatial interpolation model select in the study area

| 时期 | 用地类型 | 插值方法 | 模型 | Rang | Sill | Nugget | 拟合检验 |
|-------|------|------|-------------|--------|----------|---------|-------|
| 2004a | 商业用地 | 克里格 | Exponential | 24480 | 18550000 | 550000 | 0.964 |
| | 住宅用地 | 克里格 | Gaussian | 6235.4 | 2087000 | 396000 | 0.939 |
| | 工业用地 | 反距离 | 二次反模型 | — | — | — | 0.643 |
| 2010a | 商业用地 | 克里格 | Spherical | 6260 | 60040000 | 540000 | 0.927 |
| | 住宅用地 | 克里格 | Exponential | 4080 | 34800000 | 1300000 | 0.878 |
| | 工业用地 | 反距离 | 二次反模型 | — | — | — | 0.703 |

距离权重插值法，各插值方法、具体参数以及检验见表4。插值方法经95%的置信度检验，拟合优度较好，插值结果能够满足论文分析精度要求。

如图5所示，地铁开通前，商业用地地价格局呈“同心圆”模式，地价从同心圆中心向周边递减，同心圆中心位于研究区中央路—新街口沿线，峰值达到1.5万元/m²，最外圈价格为中心圈的1/3。地铁开通后，商业用地地价格局仍呈“同心圆”模式，但中心圈内出现多个中心点，除新街口、夫子庙等外还新增了山西路、湖南路等新中心点，中心峰值近4.0万元/m²，最外圈价格是中心圈的1/4，中心圈地价增长快于外围圈。地铁开通前，住宅用地价格局呈现类似于“同心圆”模式，由中心向四周递减，但南部偏高，中心同商业中心一致，峰值约为0.6万元/m²，最外圈价格为中心圈的1/3。地铁开通后，住宅地价格局变化较大，首先中心圈峰值位置由北偏南，河西地带步入了中心圈内；其次价格递减路线呈“大”字型，展现出与地铁线布局较为一致的规律，总体上以新街口为中心，以“大”字型向周边递减，最低处价格为中心圈峰值价格的1/5，中心圈及地铁沿线地区的价格增长的速度快于其他地区。工业用地地价格局较为复杂。地铁开通前后，价格较高的点位变化不大，格局规律以多中心点向外围递减，工业地价中心分散地分布在主城区护城河和明城墙外处。地铁开通前，工业用地最高价格为0.12万元/m²，最低价格为最高值的1/2；地铁开通后，最高处工业用地价格为0.3万元/m²，低处价格为峰值的1/2.5。

从地价格局及其变化结果可知，① 研究区土地价格空间格局与通达性格局具有较好的空间吻合性，总体格局基本呈“同心圆中心向周边递减”的分布规律；② 地价格局变化与地铁引起的通达性格局变化也具有相似性。首先，研究区商业、住宅、工业地价在地铁开通后均具有较大增长，这与地铁增进研究区通达性具有一致性；其次，从局部变异来看，位于中心地带的土地价格增长速度快于周边增长速度，此点与相对通达性格局“膨胀

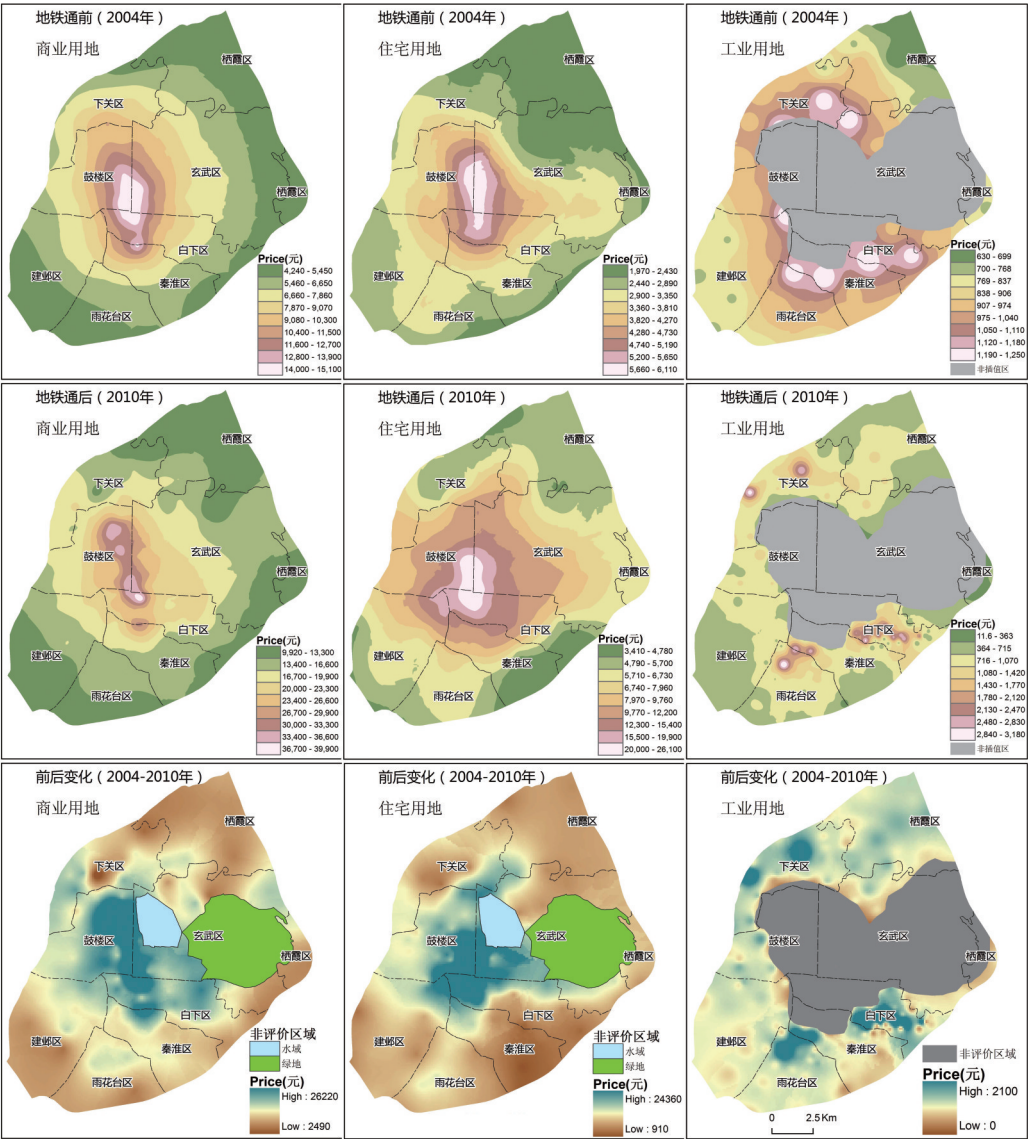


图5 地铁开通后研究区土地价格空间格局变化

Fig. 5 The change of land price spatial pattern between before and after metro operation

一坍缩”效应具有相似性，位于南部地区的地价增量要高于北部，此点与通达性中心向东南转移也具有相似性。因此，有理由推测，一是地铁改变了研究区城市交通网络的通达性并间接地造成了地价格局的变化，二是地价格局对通达性格局的变化必将产生响应，并展示出可循的响应规律或模式。

5.2 不同用地类型地价对地铁改善通达性的响应模式

按照前述推理，分别对研究区内商业、住宅、工业用地单元的价格增长与通达性增长进行数理统计分析，以探索地价是否对通达性变化具有响应，同时寻求不同类型地价对通达性响应是否存在不同的规律。统计分析时，随机抽取商业、住宅用地 2/3 的单元进入统计，剩余 1/3 的单元作为统计验证，由于工业用地单元数目较少则省略了剩余样点单元验证步骤，统计分析结果见图6。

结果显示 (图6)，商业用地价格增长对通达性增长的响应模式为对数响应模型。该模

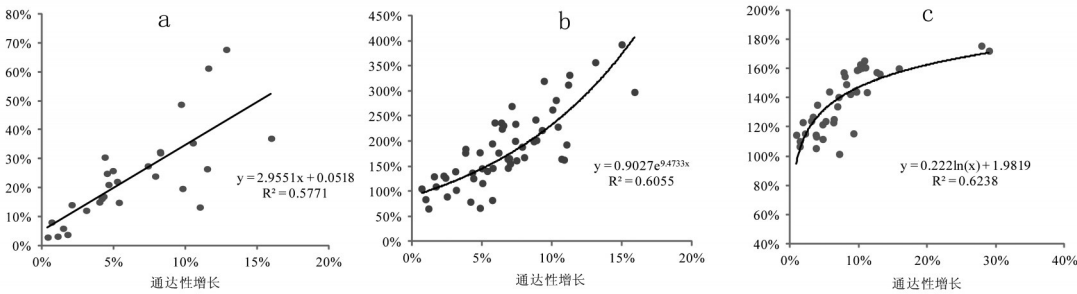


图6 各类用地对地铁增益通达性的增值响应模式

Fig. 6 Different land value capture mode of different land use types

型在 95% 的置信水平上拟合优度达到 0.6238，1/3 的后验样点符合对数曲线概率为 77%；住宅用地价格增长对通达性增长响应模式为指数响应模型，该模型拟合度达到 0.6055，1/3 的后验样点符合指数曲线的概率为 73%；工业用地价格响应模式为线性响应模型，模型的拟合优度达到了 0.5771。从一般统计需求精度来看，总体上统计模型拟合优度超过或基本接近 0.6 以上，同时 1/3 的随机后验样点验证，其验证精度也均在 0.7 强，因此模型和统计数理规律是具备可信度的。

由商业用地对数响应模式可知，商业用地价格增长对通达性增长的响应是先快后慢的规律。当通达性增长幅度在 7% 内，商业用地价格增长响应较快，增长幅度可达期初的 1.4 倍，价格增长对通达性增长的边际效应系数为 8.0；而随着通达性增长，地价增长速度放缓，当通达性增长幅度为 30% 时，价格增长幅度为期初的 1.8 倍，边际效应为 1.6。住宅用地指数响应模式可知，住宅地价增长随着通达性增长而成指数型的递增规律，响应越来越大。当通达性增加幅度在 10% 以内，其地价增长幅度最高可为 210%，边际效应为 2.1；当通达性增加幅度到 15% 时，其价格增长幅度将过 400%，边际效应达到 3.8。工业用地对通达性增长的响应模式为线性模式，即价格增长对通达性增长的响应成稳定的常数规律，其边际效应常数为 2.95。

商业用地价格对通达性增长的对数响应模式，恰好反映了商业用地地租收益与城市交通人流量之间的特殊关系。以研究区为例，当通达性提升 7% 后，以新街口、湖南路、夫子庙等商业中心的服务半径可从 2.8 km 增加到 3.8 km，服务面积可从覆盖研究区 44.6% 增长到 74.9%，覆盖的人口从 310 万增加到约 440 万；而随着通达性的增加，服务面积、半径以及可覆盖人口递增速度将减少，这必定减缓商业用地地租增长能力，影响了价格的增长。对于住宅用地的指数响应模式，本文认为住宅用地地租收益主要取决于居民旅行可达潜力，提升通达性可以让居住者在同等成本下获得更多的就业、教育、就医、出行及休闲等各种机会，从而增加土地的收益能力。以鼓楼一个片区的电子地图数据和实际调查为例，当提升 10% 通达性，居民可至少多获得约 83 个小型超市、超过 100 个商业大楼、20 余家百姓药店、39 个银行 ATM 网点及超过 74 个公交站点和 8 个开放性公园；而随着通达性的进一步提升，获得的服务设施数量将呈指数增加。工业用地对通达性增加的响应为线性模式，即增长边际保持不变。这表明，通达性的增长对工业用地收益提升是恒定的，可能的原因一是地铁改变的是居民出行的通达性，即人口流的变化，相对于工业用地地租收益来说，其地租收益更大程度上取决于工业产品的货物流动性，而地铁提升货物流的通达性有限，因此工业用地对地铁通达性增长不具可变的敏感性；另一方面也可能存在样点统计分析上的不足，掩盖了真实的工业用地对通达性提升的响应规律。

5.3 研究区地铁提升通达性的土地升值

由研究区商业、住宅及工业用地地价对通达性增长响应规律曲线来看，当通达性增长为 0% 时，商业、住宅及工业用地价格也分别至少增加了 100%、90% 和 5%。这些是由非

通达性提升的土地价值,其来源可归结为由经济增长、物价上涨、基础设施增设的外部效益、商业中心溢出效应等。由此我们可将这一部分的价格增长进行剥离,剩余的即为地铁提

升通达性的土地升值效应。同时,假定在地铁开通前后研究区内的商业、住宅及工业用地面积不具较大变化,以此对土地升值的总量进行测算,结果见表5。表中显示,地铁开通以来(2004-2010年),研究区土地价值增加了5864亿元,地铁增加通达性贡献了32.8%地价增值,非通达性贡献了67.2%的增值,两者贡献比为0.48:1。除工业用地外,商业及住宅用地升值中,通达性增值贡献低于非通达性增值贡献,其贡献比值分别为0.50:1和0.45:1。从类型比较来看,商业用地通达性升值效应最大,占总通达性增值效应的65.8%;其次为住宅用地,占比33.2%;最后为工业用地,占比1.0%。从分析结果来看,首先,与众多非通达性引起的土地升值效应对比,地铁的土地增值贡献达到了近1/3的比重,表明在土地增值方面,地铁作用是不可忽略的一项重要因素;其次在研究区内,商业用地是因地铁建设获益最多的用地类型,其比例超过总量的2/3;再次,从地铁建设的经济性来看,研究区地铁建设经济性是可行的,回报率和杠杆作用是较好的,以研究区地铁建设成本4亿元/km,目前建成90 km为计,其投入成本约为360亿元,这远低于地铁对土地带来的增值收益。

6 结论与讨论

随着城市的发展,地铁在城市居民的生活中占有重要地位,对城市经济社会发展产生重大影响。通过理论分析、研究假设和数理统计验证,以南京地铁为例,探讨地铁对城市公共交通通达性影响与土地升值影响之间的关系,为评估地铁对城市发展的贡献、探索地铁经济外部性的规律以及辅助外部性内化政策制定等提供科学根据。研究结论如下:

- (1) 南京1、2号地铁有效地从时间成本、影响范围和网络形态等多方面改善城市公交网络的通达性。边缘区绝对通达性增幅大,中心区绝对通达性增幅小,但通过“半径陷阱”作用,地铁使得城市内部相对通达性产生“中心膨胀—边缘坍缩”效应,并能改变优势空间的中心和方位,地铁对公交网络通达性产生了显著影响。
- (2) 地铁影响的通达性格局变化与地价格局变化具有相似性。通过统计分析和验证,不同用地地价对通达性增量产生不同的增值响应模式,商业用地为对数响应模式,住宅用地为指数响应模式,而工业用地为线性响应模式。地铁增值贡献了研究区2004-2010年土地升值的1/3,其中对商业用地的增值作用最大,其次为住宅和工业。正如Du等人建议一样^[29],这一发现可为地铁建设财政补偿政策,如土地收益转移补贴、征收差别化的城市土地房屋税收政策等提供依据。研究虽然发现一些规律,但也带来了一些新的问题,如不同用地地价增值模式的具体原因是什么,为什么地铁作用通达性存在“半径陷阱”等。这些问题的深刻原因和内部机理都将是作者以后需要进一步研究的内容。

参考文献 (References)

[1] Richard D K. Transport impacts of greater Manchester's metro link light rail system. Journal of Transport Geography, 1996, 4(1): 1-14.

[2] Huang H. The land-use impacts of urban rail transit systems. Journal of Planning Literature, 1996, 11(1): 17-30.

- [3] Harper R. Midland metro: Monitoring the impacts. Presented in the European Transport Research Conference, September 7-11. Cambridge, UK, 2000.
- [4] Golias J C. Analysis of traffic corridor impacts from the introduction of the new Athens metro system. *Journal of Transport Geography*, 2002, 10: 91-97.
- [5] Bhandari K, Kato H, Hayash Y. Economic and equity evaluation of Delhi metro. *International Journal of Urban Sciences*, 2009, 13(2): 187-203.
- [6] Bhattacharjee S, Andrew R G. Impact of light rail on traffic congestion in Denver. *Journal of Transport Geography*, 2012, 22: 262-270.
- [7] Brueckner J K, Thisse J, Zenou Y. Why is central Paris rich and downtown Detroit poor? An amenity-based theory. *European Economic Review*, 1999, 43: 91-107.
- [8] Castillo-Manzano J I, Lopez-Valpuesta L. Urban retail fabric and the metro: A complex relationship. Lessons from middle-sized Spanish cities. *Cities*, 2009, 26(3): 141-147.
- [9] Christopher R B, Keith R I. The impact of rapid rail transit on economic development: The case of Atlanta's MARTA. *Journal of Urban Economics*, 1997, 42(2): 179-204.
- [10] Kwan M P, Murray A T. Recent advances in accessibility research: Representation, methodology and applications. *Geographical Systems*, 2003, 5: 129-138.
- [11] Yang Jiawen, Zhou Yixing. Accessibility: Concepts, measurement and application. *Geography and Territorial Research*, 1999, 15(2): 62-67. [杨家文, 周一星. 通达性: 概念, 度量及应用. *地理学与国土研究*, 1999, 15(2): 62-67.]
- [12] Weinberger R. Light rail proximity: Benefit or detriment? The case of Santa Clara County, California. Washington D. C.: 2001.
- [13] Vessail K V. Land use impacts of rapid transit. *Berkeley Planning Journal*, 1996, 11: 71-105.
- [14] Sara I M, Daniel J G, Patricia C M et al. A meta-analysis of the impact of rail projects on land and property values. *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, 2013, 50: 158-170.
- [15] Bollinger C R. Spatial variation in office rents within the Atlanta region. *Urban Studies*, 1998, 35(7): 1097-1118.
- [16] Gerrit J K, Chengr D, Lewis D H. Do plans matter? The effects of light rail plans on land values in station areas. *Journal of Planning Education and Research*, 2001, 21(1): 32-39.
- [17] Aaron G, Subhrajit G, Bharath S. Spatial and temporal capitalization effects of light rail in phoenix from conception, planning, and construction to operation. *Journal of Planning Education and Research*, 2012, 32(4): 415-429.
- [18] Cervero R, Duncan M. Assessing the impacts of urban rail transit on local real estate markets using quasi-experimental comparisons. *Transactions Research Part A: Policy and Practice*, 1993, 27(1): 13-22.
- [19] Cervero R, Duncan M. Land value impacts of rail transit services in San Diego County. *National Association of Realtors Urban Land Institute*, 2002.
- [20] Hack J. The role of transit investment in urban regeneration and spatial development: A review of research and current practice. *CIP Annual Conference (Canada)*, 2002.
- [21] Cervero R. *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington, DC: Island Press, 1998.
- [22] Deng Yu, Cai Jianming, Yang Zhenshan et al. Measuring time accessibility with its spatial characteristics in urban areas of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(2): 169-178. [邓羽, 蔡建明, 杨振山 等. 北京城区交通时间可达性测度及其空间特征分析. *地理学报*, 2012, 67(2): 169-178.]
- [23] Guo Qian, Wu Dian Tin, Bao Jie. Evaluation of accessibility in urban rail transit network of beijing based on transfer efficiency index and the analyze of its cause. *Economic Geography*, 2012, 32(11): 38-44. [郭谦, 吴殿廷, 鲍捷. 基于换乘效率指数的北京轨道交通网络通达性评价及其成因分析. *经济地理*, 2012, 32(11): 38-44.]
- [24] Dong Guanpeng, Zhang Wenzhong, Wu Wenjie et al. Spatial heterogeneity in determinants of residential land price: Simulation and prediction. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 750-760. [董冠鹏, 张文忠, 武文杰, 等. 北京城市住宅土地市场空间异质性模拟与预测. *地理学报*, 2011, 66(6): 750-760.]
- [25] Gu Yizhen, Zheng Siqu. The impacts of rail transit on property values and land development intensity: The case of No.13 Line in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(2): 213-223. [谷一桢, 郑思齐. 轨道交通对住宅价格和土地开发强度的影响: 以北京市13号线为例. *地理学报*, 2010, 65(2): 213-223.]
- [26] Wu Wenjie, Liu Zhilin, Zhang Wenzhong. Determinants of residential land price: Structure equation model analysis using land-leasing parcel data in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 676-684. [武文杰, 刘志林, 张文忠. 基于结构方程模型的北京居住用地价格影响因素评价. *地理学报*, 2010, 65(6): 676-684.]
- [27] Wang Songtao, Zheng Siqu, Feng Jie. Spatial accessibility of housing to public services and its impact on housing price: A case study of Beijing's inner city. *Progress Geography*, 2007, 26(6): 78-85. [王松涛, 郑思齐, 冯杰. 公共服务设施可达性及其对新建住房价格的影响: 以北京中心城为例. *地理科学进展*, 2007, 26(6): 78-85.]
- [28] Du H, Mulley C. Transport accessibility and land value: A case study of Tyne and Wear. *RICS Research Paper Series*, 2007, 7(3): 1-50.
- [29] Du H, Mulley C. The short-term land value impacts of urban rail transit: Quantitative evidence from Sunderland, UK. *Land Use Policy*, 2007, 24: 223-233.

- [30] Martínez L M, Viegas J M. Effects of transportation accessibility on residential property values: Hedonic Price Model in the Lisbon, Portugal, metropolitan area. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009, 2115: 127-137.
- [31] Adair A S, Berry J N, McGreal W S. Hedonic modeling, housing submarkets and residential valuation. *Journal of Property Research*, 1996, 13(1): 67-83.
- [32] Li Pinghua, Lu Yuqi. Metropolitan accessibility: Literature review and research progress in the West. *Urban Problems*, 2005, (1): 69-73. [李平华, 陆玉麒. 城市可达性研究的理论与方法评述. *城市问题*, 2005, (1): 69-73.]
- [33] Jin Fengjin, Wang Jiao'e. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 293-302. [金凤君, 王姣娥. 二十世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. *地理学报*, 2004, 59(2): 293-302.]
- [34] Jiang Haibing, Xu Jiangang, Qi Yi. The influence of Beijing-Shanghai high-speed railways on land accessibility of regional center cities. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(10): 1287-1298. [蒋海兵, 徐建刚, 祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响. *地理学报*, 2010, 65(10): 1287-1298.]
- [35] Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong et al. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1065-1073. [吴威, 曹有挥, 曹卫东 等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化. *地理学报*, 2006, 61(10): 1065-1073.]
- [36] Wang Baojun. Theories and methods for soil grain orientation distribution in SEM by standard deviational ellipse. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2009, 37(7): 1082-1087. [王宝军. 基于标准差椭圆法SEM图像颗粒定向研究原理与方法. *岩土工程学报*, 2009, 37(7): 1082-1087.]

The impact of metro lines on public transit accessibility and land value capture in Nanjing

LI Zhi^{1,2}, ZHOU Shenglu², WU Shaohua², DAI Wanying³, CHEN Long², LU Ligang²

(1. *Jiangxi Normal University, College of City Construction, Nanchang 330022, China;*

2. *Nanjing University, School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing 210093, China;*

3. *China United Engineering Corporation, Municipal Planning Design Institute, Hangzhou 310014, China)*

Abstract: This paper takes Nanjing metro Line 1 and Line 2 as an example to construct the urban public transit network, which is used to measure the changes in transit accessibility with multiple indicators. Based on the distinctions between before and after building metro line, this paper provides diverse value added response modes with different land prices capture on the transit accessibility-added of metro, which offers a scientific basis for law inquiry and policy formulation. The results show that the metro enhances the urban public transit accessibility in time costs, sphere of influence, and network morphology and so on. Absolute accessibility increase in the peripheral region is larger than that in the central area, while relative accessibility increase in the center is larger because of "radius trap", which brings about "center expansion & peripheral collapse" pattern change. The change of land price pattern is similar with that of accessibility pattern. Thus, space differentiated external economy comes into being with the effects of metro. Different types of land use have different land value capture modes, for example, commercial land value increase shows a logarithmic response mode, residential land value increase shows an index response mode, while industrial land value increase shows a linear response mode. It is indicated that metro contributes 1/3 to urban land added value, in which the external effect on commercial land is higher than that of residential and industrial land, with a ratio of 2:1:0.3. The result may be beneficial to assess the Nanjing Metro influences on the overall urban land use, and provide the evidence for levying urban land and housing differentiated taxes to compensate the metro economic externality losses.

Key words: metro line; accessibility; land value capture; Nanjing